

文章编号:1005-2992(2010)01-0039-05

# 高效固液分离装置及在煤气洗涤废水处理中的应用

蒋剑平, 王 聪

(东北电力学院 龙源水处理工程技术有限责任公司, 吉林 吉林 132013)

**摘 要:** 利用水中造粒技术设计的高效固液分离装置, 针对冶金行业的煤气洗涤废水进行处理回用的研究。考察了投药量、强制搅拌转速、原水浊度对出水浊度的影响。研究表明: 在相同的控制条件下即上升流速为 15 m/h 时, 使用聚合氯化铝 (PAC) 为混凝剂, 投加量为 40 mg/L, 聚丙烯酰胺 (PAM) 为絮凝剂, 投加量为 1.2 mg/L, 强制搅拌速度为 40 r/min, 总水力停留时间只有 10 min 的条件下, 处理水的浊度可达到 5 NTU 以下。该装置运行状态稳定, 适用于悬浮物含量高的废水, 污泥含水率低, 无需浓缩设备, 能满足连续处理和间歇处理的需要。

**关键词:** 水中造粒; 结团絮凝; 固液分离; 浊度  
**中图分类号:** X 75      **文献标识码:** A

高炉洗煤气水是钢铁企业的主要工业废水之一, 具有水量大、水温高、悬浮物含量高等特点。在洗涤煤气过程中, 细小固体杂质 (亦称瓦斯泥) 进入水中, 水温升高瓦斯泥中的一些矿物质被微量溶解于水中, 煤气中的酚、氰等有害物质也部分溶入水中, 使水体受到污染。我国上世纪五六十年代建设的炼铁厂普遍为生铁高炉, 煤气洗涤废水的处理多采用平流沉淀池或斜管沉淀池, 废水处理效果很差, 很少循环使用。据报道, 我国钢铁企业每年共产生高炉煤气洗涤水约  $4.58 \times 10^8$  t, 排放量达到  $2.73 \times 10^8$  t, 而排放合格率仅为 24%<sup>[1]</sup>。面对日益加剧的水源污染和水资源短缺问题, 如何研究和开发更加高效的水处理技术已成为水处理领域重要的研究课题。

## 1 高效固液分离装置

近几十年来, 一种新型高效的固液分离技术——水中造粒技术得到了广泛的研究。尤其是以污泥脱水、高浊度原水、高浓度废液的固液分离的研究引起了国内外水处理界的关注。

水中造粒技术是以絮凝动力学为原理的一种水处理技术, 此工艺通过控制物理化学条件、动力平衡条件使洗煤废水中的煤泥颗粒形成结构紧密的颗粒状絮凝体——结团絮凝体, 通过提高絮凝体的密度来实现固液的高速分离, 从而达到高效去除悬浮物的目的。此工艺可省去预处理构筑物, 处理后的水质可达到澄清要求, 水力停留时间短, 表面负荷高, 处理效果好。

图 1 为高效固液分离装置的主体设备示意图。设备内部主要分为 4 个部

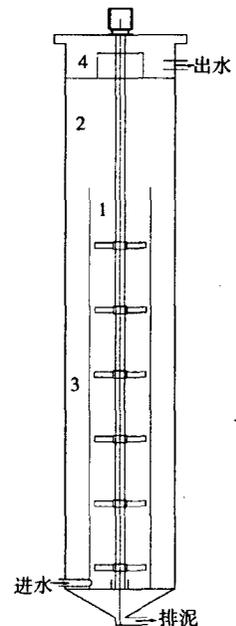


图 1

收稿日期: 2010-12-18

作者简介: 蒋剑平 (1979-), 男, 东北电力学院龙源水处理工程技术有限责任公司助理工程师, 主要从事水处理方向研究。

分。内筒1为造粒凝聚区;2为分离区;外筒3为环状集泥区;4为集水装置。

设备底部为进水口,原水在前段水力混合管道内通过合理控制助凝剂和混凝剂的投加顺序、投量和混合条件,对废水中的微小粒状污染物进行微脱稳后,从底部进入主体装置。装置内部设有搅拌叶片,通过中心轴安装于设备顶部的搅拌电机驱动,利用预先形成的大粒度、高密度颗粒悬浮层,实现微小颗粒在母体表面的逐一附着式结合模式,形成高浓度、大粒径的颗粒,完成自我造粒过程。水流向上,悬浮层增长高出堰口后,随着断面扩大流速降低,团粒在重力作用下与水完成分离过程:水流向上,悬浮层与进水中固体物量相当的悬浮层增长部分在重力作用下越过1区落入2区。处理水则通过位于分离区上方的集水装置收集处理水,集水方式为锯齿堰集水,然后从出水管流出。分离的污泥定时从底部污泥排放口排出。

## 2 试验系统

### 2.1 试验系统

该试验系统主要由水力混合管道、高效固液分离装置及附属设备(包括水泵、配水箱、加药装置等)三大部分构成。

现场试验的处理流程如图2所示。配水箱配制的废水经水泵、水力混合管道进入高效固液分离装置底部。在水泵吸水端通过定量加入无机混凝剂和有机高分子絮凝剂,经水泵混合后在水力管道中完成微絮凝,然后在装置中完成造粒、分离过程。处理水从装置的顶部流出。分离的污泥定时从装置底部的污泥排放口排出。



图2 试验处理流程示意图

### 2.2 试验条件控制

试验用原水是由某铁合金厂瓦斯泥与自来水配制而成。混凝剂为液体聚合氯化铝(PAC),  $Al_2O_3$ 有效含量10%,稀释10倍后投加。絮凝剂为聚丙烯酰胺(PAM),分子量为500万,投加浓度为0.1%。

试验装置处理能力为  $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ ,配制进水浊度为500~1000 NTU,1区上升流速为15 m/h,装置总水力停留时间约为10 min,其中造粒区停留时间为6 min。

## 3 结果与讨论

### 3.1 理论分析

在结团絮凝悬浮层中存在着运动平衡和物料平衡<sup>[6]</sup>。运动平衡指的是结团体在竖直方向受重力,浮力及上升水流冲击力作用而达到平衡,即结团体悬浮层的上升速度等于水流上升速度与絮体颗粒拥挤沉速之差,可用下式表示:

$$u_b = u_w - u_f, \quad (1)$$

式中  $u_b$ :悬浮层上升速度,cm/s;  $u_w$ :水流上升速度,cm/s;  $u_f$ :絮体颗粒拥挤沉速,cm/s。

根据爱因斯坦方程,颗粒拥挤沉速  $u_f$  与平均自由沉速  $u_p$  的关系满足下式:

$$u_f/u_p = (1 - V_f)^n, \quad (2)$$

式中  $u_p$ :颗粒平均自由沉速,cm/s;  $V_f$ :絮体颗粒体积浓度;  $n$ :指数。

根据阿兰(Anen)公式,颗粒的自由沉速为  $u_p = \left[ \frac{4}{225} \frac{(\rho_p - \rho_w)^2 g^2}{\mu \rho_w} \right]^{1/3} d_f$ ,其中  $\rho_p$  为絮体颗粒视密

度,  $\rho_w$  为水的密度, 取  $1 \text{ g/cm}^3$ ,  $g = 980 \text{ cm/s}^2$ , 考虑到  $\rho_p - \rho_w = \rho_e$ , 则由式(2) 可得:

$$u_f = 25.75(1 - V_f)^n (\rho_e / \mu)^{1/3} d_f \quad (3)$$

物料平衡指的是进出悬浮层的固体物料相等, 可用下式表示:

$$C_0 u_w A = \left[ u_b V_f \rho_p - \rho_w \left( u_b V_f - \frac{C_0 u_w}{\rho_s} \right) \right] A + C_i u_w A, \quad (4)$$

式中  $C_0, C_i$ : 进出水浓度,  $\text{g/cm}^3$ ;  $\rho_p$ : 絮体视密度,  $\rho_p - \rho_w = \rho_e$ ;  $\rho_s$ : 固体颗粒干密度,  $\text{g/cm}^3$ ;  $A$ : 悬浮层过水断面面积,  $\text{cm}^2$ 。

忽略  $C_i$ , 式(4) 可简化为:  $u_b = (\rho_s - 1) \rho_s C_0 u_w / V_f \rho_e$ 。令  $K = \rho_s / (\rho_s - 1)$ , 将  $u_b, u_f$  代入(1) 式, 得到悬浮层的平衡关系:

$$u_w = \frac{25.75K(1 - V_f)^n V_f \rho^{5/3} d_f}{(KV_f \rho_e - C_0) \mu^{1/3}} \quad (5)$$

取  $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ , 根据以往研究结果,  $\rho_s$  取  $2.65 \text{ g/cm}^3$ , 代入(5) 式:

$$u_w = \frac{25.75(1 - V_f)^n V_f \rho^{5/3} d_f}{(V_f \rho_e - 0.623C_0) \mu^{1/3}} \quad (6)$$

由式(6) 可知, 平衡状态下, 上升流速  $u_w$  越大, 颗粒粒径  $d_f$  越大, 故增大上升流速  $u_w$  有利于增大结团体颗粒粒径  $d_f$ ; 在上升流速  $u_w$  一定的条件下, 结团体有效密度  $\rho_e$  越大, 颗粒拥挤沉速  $u_f$  越大, 相应的上升流速  $u_w$  极限值也会增大, 而结团体有效密度  $\rho_e$  与空隙率有关, 所以减小结团体空隙率有利于上升流速  $u_w$  的提高; 悬浮层体积浓度  $V_f$  与进水浓度  $C_0$  有关, 在粒径  $d_f$  相近的条件下, 进水浓度  $C_0$  越大, 悬浮层体积浓度  $V_f$  越大, 颗粒拥挤沉速  $u_f$  越小, 相应的上升流速  $u_w$  极限值也越小。

由此可知, 在运行中, 进水流量(上升流速  $u_w$ )、进水水质( $C_0$ )、搅拌强度( $\omega$ ) 和投药量(影响  $\rho_e, d_f$ ) 的改变都会破坏悬浮层的平衡。若变化在工艺允许的范围, 则经过一段时间地调整后, 系统会达到新的平衡。

### 3.2 最佳投药量的确定

在造粒型高效固液分离操作中, 无机混凝剂和有机高分子絮凝剂投量的合理控制非常重要。混凝剂的投加应满足水中初始粒子微脱稳的要求, 絮凝剂的主要作用是靠高分子的强烈作用, 实现架桥凝聚, 增大结团体的内部结合力, 使之致密化, 这样可以实现初始粒子在核絮体表面的逐个附着<sup>[2]</sup>。通过预先的静态实验已确定 PAC 的最佳投加量为  $40 \text{ mg/L}$ , 在强制搅拌转速为  $40 \text{ r/min}$ , 进水浊度  $500 \text{ NTU}$  左右的条件下, 改变 PAM 的投加量。试验结果如图 3 所示。

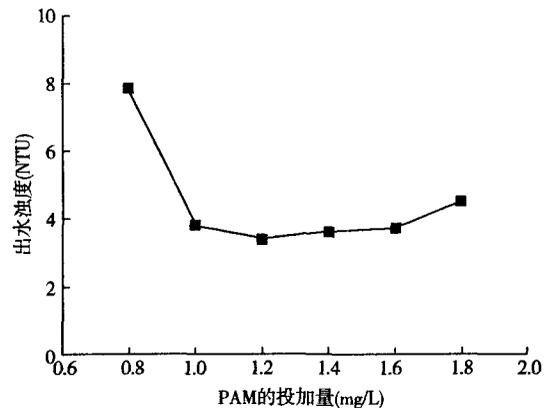


图3 PAM 投加量与出水浊度关系曲线

从图 3 可以看到, 出水浊度随着 PAM 投量的增加而发生相应地变化, PAM 的投加量对出水浊度的影响作用明显。当 PAM 的投量不足  $1.0 \text{ mg/L}$  时, 出水浊度比较大; 当 PAM 的投量在  $1.0 \sim 1.5 \text{ mg/L}$  之间逐渐增加时, 出水浊度没有明显得变化, 始终保持在  $4 \text{ NTU}$  左右; 当 PAM 投量超过  $1.6 \text{ mg/L}$  时, 出水浊度就开始略微上升。以  $1.2 \text{ mg/L}$  作为 PAM 的最佳投药量。

### 3.3 强制搅拌转数对出水浊度的影响

适宜的搅拌强度应该是保证形成既有较高的密度又有较大粒径, 以获得具有最佳沉降性能结团絮凝体为目标所对应的搅拌强度。控制条件为: 进水浊度  $500 \text{ NTU}$  左右, 上升流速为  $15 \text{ m/h}$ , PAC 投量  $40 \text{ mg/L}$ , PAM 投量为  $1.2 \text{ mg/L}$ , 改变搅拌转速试验结果如图 4。

由图4中可以看出,有效密度是随着 $n$ 的提高基本呈线性关系增大的。这和前面的理论分析相符,但是过高的转速产生强烈的剪切作用,会使颗粒的粒径急剧减小,此时可以看到造粒区的悬浮层厚度明显降低,导致结团体的沉降性能下降。所以,此时有效密度随着转速提高而增大失去意义。但是过低的搅拌强度又会减弱结团体的致密作用,使接触混凝作用不明显。综合考虑各种因素,本试验条件下,取转速为40 r/min为宜。

### 3.4 原水浊度的影响

配制进水为不同浊度,在PAM投量为1.2 mg/L, PAC投量为40 mg/L,强制搅拌转速为40 r/min时的实验结果见图5。

实验结果表明,当进水浊度越高时,出水浊度越低。分析认为原水浊度越高,经PAC絮凝反应后,水中脱稳胶体较多,可以在后续过程中充当絮体晶核作用,可以提高PAM架桥作用,使絮体可以较快地成长,形成密实的絮体颗粒。

### 3.5 运行的稳定性

试验工况为:原水流量为 $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ ,SS浓度在1000 mg/L左右。PAM投量为1.2 mg/L, PAC投量为40 mg/L,强制搅拌转速为40 r/min运行。实验结果见图6。

刚刚运行时,出水中的浊度较高,随着时间的延长,出水的浊度逐渐下降,这是因为装置初次启动(或放空后再启动)时,流化态团粒悬浮层成长和稳定需要一段时间,因此初期会出现出水浊度较高的情况。运行1.5~2 h后,浊度小于5 NTU。装置停止运行后在不放空的情况下重新启动,出水浊度在短期内会出现稍高的现象,但马上恢复正常,其根本的原因在于此时的造粒凝聚区仍存在着团粒悬浮层,可以很快与水中粒子发生自我造粒。图6表明在间歇运转的条件下,装置基本上能正常工作。

### 3.6 污泥含水率

在稳定运行条件下,对装置集泥区中的污泥在不同存泥时间的含水率用重量法进行了测定,结果如表1所示。

表1 污泥含水率

项目	数据				
存泥时间(h)	0.5	1	2	3	4
污泥含水率(%)	86.5	84.6	83.2	82.1	80.5

由表1可知,造粒法产生的污泥含水率可达到80%~85%,比常规的浓缩脱水方法所得到的污泥

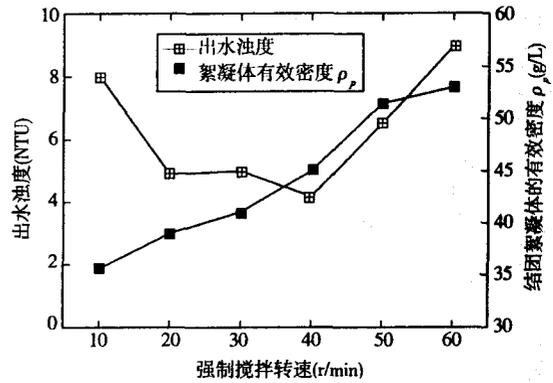


图4 搅拌转速对出水浊度的影响

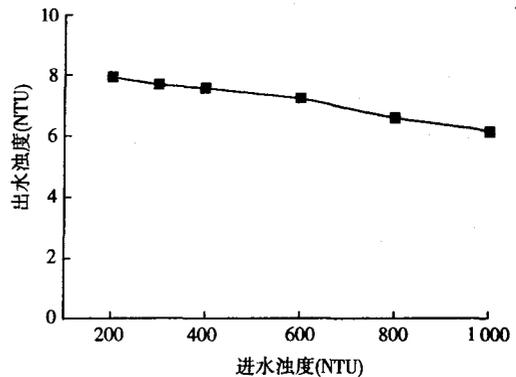


图5 原水不同浊度对出水的影响曲线

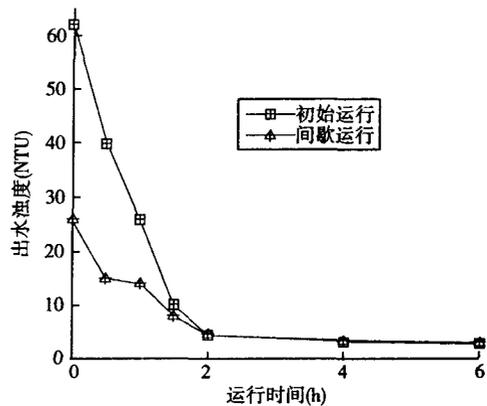


图6 装置的运行状态对出水浊度的影响

含水率低,显然,具有这样脱水性质的污泥的体积大大缩小,因此不需要再进行浓缩处理,这样可以减少工艺的占地面积又节约了资源。

## 4 结 论

(1)水中造粒型高效固液分离装置,适用于悬浮物含量高(1 000 mg/L ~ 20 000 mg/L)的天然源水和污、废水(COD 不大于 1 000 mg/L)。该工艺与传统工艺相比,提高水处理效率 5 ~ 10 倍,悬浮物去除率高达 99% 以上。生成结团絮凝体密度大,单位浊质产生的污泥量小,分离污泥含水率低,无须专门的浓缩设备。

(2)该工艺的水力停留时间短,出力大,容易做成小型化水处理器,占地面积小,适应性广,使用灵活。

(3)水中造粒工艺能高效处理煤气洗涤废水,对实现废水的再生回用充分利用水资源具有重要的意义,将产生显著的环境效益和社会效益。该项新型处理技术对于解决目前重点污染源的污染问题具有广阔的应用前景,因这类废水如冶金行业洗煤废水、冶金矿山的选矿、尾矿废水、钢铁企业的煤气洗涤废水等都具有水量大、污染重的特点,利用该技术可实现废水的重复使用,节约和充分利用水资源,具有良好的使用前景。

## 参 考 文 献

- [1] 国家环境保护局. 钢铁工业废水治理[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992.
- [2] 王菊霞,舒燕. 投药条件对结团凝聚工艺的影响[J]. 包钢科技,2000,26(4):87-91.
- [3] 黄廷林,解岳. 水厂生产废水结团絮凝处理的中试研究[J]. 给水排水,2003,29(3):9-12.
- [4] 王晓昌. 造粒型高效固液分离技术用于电厂废水再生的试验研究[J]. 给水排水 2001,27(8):39-41.
- [5] 李琪,张志杰. 造粒净水器技术研究[J]. 中国农村水利水电,1999,7:18-20.
- [6] 黄廷林,张刚,聂小保. 造粒流化床浓缩技术处理给水厂排泥水的中试研究[J]. 给水排水,2005,31(11):10-14.

## Efficient Solid-liquid separation device and the appliance of the coal gas washing wastewater treatment

JIANG Jian-ping, WANG cong

(Northeast Electricity College Longyuan water-treatment Limited Company, Jilin, Jilin 132013)

**Abstract:** The efficient solid-liquid separation device is based on Water Granulation technology, which is studied for the coal gas washing wastewater treatment and reuse of the metallurgical industry. Examined the impact of the dosage, forced stirring speed and the raw water turbidity effluent influence on the effluent turbidity. The results show that: in the same controlled conditions which means the flow rate is 15 m/h, the dosage of Poly aluminum Chloride (PAC) is 40 mg/L, polyacrylamide (PAM) as flocculant, the dosage of it is 1.2 mg/L, stirring speed is 40 r/min, the total hydraulic retention time is only 10 min, the turbidity of treated water can reach 5 NTU below. It operates in stable condition, applicable to high levels of suspended solids in wastewater, sludge moisture content is low, does not require enrichment facilities, can meet the continuous treatment and intermittent treatment needs.

**Key words:** water Granulation; pellet Flocculation; solid-liquid separation; water turbidity